

Jesper Laitinen

Energiaseurantamalli Koneyrittäjille

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

9.3.2018

Tekijä(t) Otsikko	Jesper Laitinen Koneyrittäjien energiatehokkuus: Energiaseurantamalli
Sivumäärä Aika	27 sivua + 2 liitettä 9.3.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Energia- ja ympäristötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energiantuotantomenetelmät
Ohjaaja(t)	Tutkintovastaava Antti Tohka, Metropolia Ammattikorkeakoulu Kehittämispäällikkö Timo Makkonen, Koneyrittäjien liitto
<p>Opinnäytetyön tavoite oli kehittää energiaseurantamalli Koneyrittäjien liiton jäsenyrityksille. Sen avulla halutaan kannustaa yrityksiä energiatehokkaaseen toimintaan.</p> <p>Jäsenyritykset muodostuvat pääosin maarakennus- ja metsäkoneyrityksistä. Tyypillisiä maarakennus- ja metsäkoneita ovat kaivinkoneet, pyöräkuormaajat ja hakkuukoneet. Valtaosa yritysten energiankulutuksesta muodostuu näiden koneiden kevyen moottoripolttoöljyn kulutuksesta.</p> <p>Työ toteutettiin asiantuntijoiden näkemysten ja yrittäjien toiveiden mukaisesti. Malli haluttiin pitää yksinkertaisena käytettävyyden ja työkonien laajan kirjon vuoksi. Se pohjautuu työkonien tankkauksien kirjaamiseen. Laskentamalli on Excel-pohjainen.</p> <p>Malli saatiin kehitettyä alkuvuodelle 2018, ja se oli kehitysvaiheessa kokeilussa pienessä maarakennusyrityksessä.</p> <p>Mallin on tarkoitus tukea koneyrityksiä seuraamaan energiankulutusta konetasolla ja sen avulla edistää energiatehokkuutta ja kannattavuutta. Suurin hyöty mallista on isoille jäsenyrityksille, joissa ei ole aktiivisesti aiemmin seurattu energiankulutusta ja joilla on tahtotilaa kehittää energiatehokkuuttaan.</p> <p>Työssä on huomioitu myös energiankulutuksesta muodostuvat hiilidioksidipäästöt.</p>	
Avainsanat	koneyrittäjä, työkone, maarakennus, metsäkone, polttoaine, hiilidioksidi

Author(s) Title	Jesper Laitinen Energy Efficiency Model for NRMM Entrepreneurs
Number of Pages Date	27 pages + 2 appendices 9 March 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Energy and Environmental Engineering
Specialisation option	Energy Production Technology
Instructor(s)	Antti Tohka, Head of the Programme, Metropolia University of Applied Sciences Timo Makkonen, Development Manager, Koneyrittäjien liitto
<p>The aim of the thesis was to develop an energy efficiency model for the union members of Koneyrittäjien liitto. It is intended to encourage companies to operate in an energy-efficient way.</p> <p>The union members are companies that work with Non-Road Mobile Machinery (NRMM). Majority of the union members work with forest and excavation machines. The energy consumption in these companies forms mainly from the consumption of diesel fuel.</p> <p>The thesis was carried out according to consultants' and entrepreneurs' views and wishes. The model was kept simple for its usability, and because of the wide range of the NRMMs. The model is based on logging the refuel of the machinery. Calculations of the model are based on Excel.</p> <p>The model was developed, and it was tested during the development with a small ground construction company.</p> <p>The model is intended to support companies to monitor energy consumption at the machine level and promote energy efficiency and profitability. The model will best benefit large companies that have not previously monitored energy consumption actively and are willing to develop their energy efficiency.</p> <p>The thesis takes into account the carbon dioxide emissions from energy consumption.</p>	
Keywords	non-road mobile machinery, ground construction, forestry, diesel fuel, carbon dioxide

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Tausta	2
2.1	Koneyrittäjien liitto	2
2.2	Verkosto	2
2.3	Koneyritykset	3
2.4	Työkoneet	4
2.5	Energiankulutus	5
2.6	Hiilidioksidipäästöt	6
3	Energiaseurantamalli	8
3.1	Lähtökohdat	8
3.2	Rakenne	9
3.2.1	Ohjesivu	9
3.2.2	Aloitussivu	10
3.2.3	Polttoaineseurantalomake	13
3.2.4	Konesivut	14
3.2.5	Koontisivu	18
3.2.6	Viitehaku sivu	20
3.3	Mallin kokeilu pienessä maarakennusyrityksessä	21
4	Energiatehokkuus	22
5	Yhteenveto	24
	Lähteet	27

Liitteet

Liite 1. LIPASTO-pohjainen työkonelistaus

Liite 2. Energiaseurantalomake

Lyhenteet

CO ₂	Hiilidioksidi. Hiilestä ja hapestä muodostuva yhdiste. Olomuodoltaan kaasu ilmakehässä. Kasvihuonekaasu.
KAISU	Keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelma. Ympäristöministeriön ilmastosuunnitelma Suomelle vuoteen 2030.
kg _x /l _y	Kilogrammaa litraa kohti. Oinaispäästöjen yksikkö palanutta polttoainelitraa (y) kohden.
kg/m ³	Kilogrammaa kuutiometriä kohti. Tiheyden yksikkö.
KHK	Kasvihuonekaasu. Ilmaston lämpenemistä kiihdyttävä kaasu.
kWh	Kilowattitunti. Energian yksikkö.
kWh/l _y	Kilowattituntia litraa kohti. Polttoaineen (y) ominaisenergia palanutta litraa kohden. Toisin sanoen polttoainelitrان energiasisältö.
LIPASTO	Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiakulutuksen laskentajärjestelmä. VTT:n ylläpitämä.
l _y /h	Litraa tunnissa. Tuntikulutuksen yksikkö.
M	Moolimassan tunnus.
m ³	Kuutiometri. Tilavuuden yksikkö. Tuhat litraa.
n	Ainemäärän tunnus.
NRMM	Non-Road Mobile Machinery. Työkoneet.

1 Johdanto

Metropolia sai opinnäytetyön idean Koneyrittäjien liitosta. Työn päätavoite oli luoda yhtenäinen energiaseuranta- ja laskentamalli koneyrityksille. Liitto on halunnut tarjota jäsenyrityksilleen työkaluja, erityisesti työkoneiden, energiaseurantaan ja sen avulla kannustaa yrityksiä energiatehokkaaseen liiketoimintaan.

Koneyrittäjien liitolla on noin 2 500 jäsenyritystä. Selkeä enemmistö jäsenyrityksistä muodostuu maarakennus- tai metsäkonealoilta. Maarakennusjäsenyrityksiä liitolla on tuhatkunta, samoin metsäkoneyrityksiä. Jäsenyrityksiä on huomattavasti myös metsänparannus-, puuenergia- ja turvetuotantoaloilta. Kaikkien näiden yritysten energiankulutus muodostuu pääsääntöisesti työkoneiden dieselmootoreiden kevyen polttoöljyn kulutuksesta.

Maarakennuspuolen tyypillisiä työkoneita ovat kaivukoneet, kaivurikuormaajat, pyöräkuormaajat ja puskutraktorit. Metsäkonepuolella koneet ovat pääsääntöisesti hakkuukoneita ja metsätraktoreita.

Koneyrittäjien liitosta työn ohjaajana toimi kehittämisspäällikkö Timo Makkonen ja Metropolia Ammattikorkeakoulun ohjaava opettaja insinöörityölle oli tutkintovastaava Antti Tohka.

Energiaseurantamallilla on tarkoitus ohjata jäseniä seuraamaan polttoaineenkulutusta yksilöllisesti jokaisessa työkoneessa. Yrityksillä on tieto kokonaisenergiankulutuksestaan, ja seurantamallin avulla kulutus kohdennetaan yksittäisiin koneisiin. Lisäksi malli kattaa energiankulutuksen kaikissa koneissa, ajoneuvoissa ja kiinteistöissä, jotta yrityksen koko energiankulutuksesta muodostuisi ehjä kokonaisuus.

Yritysten asiakkaat, töiden tilaajat, ovat alkaneet olla yhä enemmän kiinnostuneita töistä muodostuvista päästöistä. Mallissa huomioitiin siksi myös energiankäytöstä muodostuvat hiilidioksidipäästöt. Esimerkiksi Stora Enso on sitoutunut vähentämään vuoteen 2030 mennessä sellu-, paperi- ja kartonkituotannon kasvihuonekaasupäästöistä 31 % verrattuna vuoden 2010 tasoon [Stora Enso asetti kunnianhimoiset ilmastotavoitteet].

2 Tausta

Koneyrittäjien liiton idean pohjalta koneyrittäjille halutaan tarjota työkaluja energiankulutuksen seurantaan ja vähentämiseen. Tarkoitus on siis saattaa energiankulutuksestaan kiinnostuneita yrityksiä seuraamaan kulutustaan yhtenäisellä toimintamallilla.

2.1 Koneyrittäjien liitto

Koneyrittäjien liitto on valtakunnallinen yrittäjä- ja työnantajajärjestö. Sen toimenkuvaan kuuluu jäsenien edunvalvonta ja se kehittää ja tuottaa palveluita jäsenilleen.

Koneyrittäjien liitolla on 14 työntekijää ja liiton toimitusjohtaja on Matti Peltola. Hallituksen puheenjohtaja on Markku Suominen.

Koneyrittäjien liitosta aktiivisesti opinnäytetyössä mukana olleet toimihenkilöt olivat työn ohjaajana toiminut kehittämisspäällikkö Timo Makkonen metsäkonepuolelta ja maarakennuspuolelta toimialapäällikkö Markku Leskinen sekä asiantuntija Ville Järvinen.

2.2 Verkosto

Työn aikana verkostoiduttiin eri virastoihin, yhtiöihin ja organisaatioihin. Motiva Oy on ollut Koneyrittäjien hankkeen kanssa yhteistyössä sen alusta saakka. Motiva on valtion-yhtiö, joka edistää Suomessa energian ja materiaalien tehokasta ja kestäväää käyttöä.

Motivan johtava asiantuntija Vesa Peltola toimi opinnäytetyön ohjausryhmän jäsenenä. Ohjauksen lisäksi Motivan rooli insinöörityössä oli olla avustamassa mallin vientiä muihin alustoihin ja viestiä työstä sekä medialle että sidosryhmille.

Hankkeessa on ollut mukana myös ProAgria, Energiavirasto ja Trafi. Yhteyshenkilöt edellä mainituista olivat johtava asiantuntija Maarit Kari ProAgriasta, yli-insinööri Juha Toivanen Energiavirastosta ja asiantuntija Marke Lahtinen Trafista.

Ympäristöministeriön *Keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelma* (KAISU) huomioitiin projektissa. Suunnitelma on Suomen Ilmastopolitiikan suunnitelma vuoteen 2030. Se liittyy

läheisesti kansainvälisiin ilmastosuunnitelmiin erityisesti kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi.

Ensikäden tiedon, näkemysten ja toiveiden saanniksi mallia varten haastateltiin Koneyrittäjien liiton jäsenyrittäjiä. Maarakennuspuolelta haastateltiin kaivinkoneurakoitsija Timo Laihoa ja koneyrittäjä Markku Suomista (LM-Suomiset Oy) sekä metsäkonepuolelta Marko Pyykköstä (Metsä-Pyykkönen Ky). Lisäksi Timo Laiho otti energiaseurantamallin kokeiluun sen kehitysvaiheessa.

Muutoin tiedonkeruu työtä varten tapahtui etsien tietoa verkosta ja keräten materiaalia muualta.

2.3 Koneyritykset

Koneyrittäjien jäsenyritykset voi jakaa niin metsä- kuin maarakennusaloilla karkeasti kahteen ryhmään koon puolesta: pieniin yhden kahden henkilön yrityksiin ja suurempiin yrityksiin, joissa saattaa olla jopa kymmeniä työntekijöitä.

Maarakennusalan noin tuhannesta Koneyrittäjien liiton jäsenyrityksestä pieniä jäsenyrityksiä on noin 560. Näissä yrityksissä ainoa työntekijä saattaa olla yrittäjä itse ja työkonetta yrityksissä on yhdestä neljään. Liikevaihto asettuu yleensä 120 000–180 000 euron välille vuodessa ja töistä veloitetaan pääsääntöisesti tuntipohjaisesti. [Järvinen ym. 2017.]

Suuria Koneyrittäjien jäsenyrityksiä maarakennusalalla on noin 340. Yrittäjän lisäksi yrityksessä on tyypillisesti 2–5 työntekijää ja 5–10 työkonetta. Liikevaihto on suuremmissa yrityksissä noin 480 000 euroa vuodessa. Maarakennusyritysten tyypillisiä asiakkaita ovat kunnat, yritykset ja yksittäiset henkilöasiakkaat. [Järvinen ym. 2017.]

Metsäkoneyritysten mediaani liikevaihto vuonna 2015 oli 560 000 euroa vuodessa. Asiakkaat muodostuvat pääsääntöisesti metsäteollisuudesta (75 % vuonna 2015) sekä yksityisistä metsänomistajien organisaatioista (12 %) että valtion metsistä (10 %). Maarakennusyrittäjien keski-ikä on 53 vuotta ja metsäkoneyrittäjien 51 vuotta. [Järvinen ym. 2017.]

2.4 Työkoneet

Koneyrittäjien jäsenyrityksillä on yhteensä noin 1 400 hakkuukonetta, 1 300 metsätraktoria, 1 100 kaivukonetta ja satoja muita työkoneita [Järvinen ym. 2017].

Työkoneiden yleisin voimanlähde on turboahdettu dieselmoottori ja tyypillinen voimansiirto on hydrostaattinen [Nylund ym. 2016: 5, 10]. Moottori tuottaa työkoneen kaikkien komponenttien vaatiman energian. Toistaiseksi dieselmoottorit ovat ainoa vartenotettava voimanlähde työkoneissa.

Kuvassa 1 alla on esitetty alojen tyypillisiä työkoneita.



Kuva 1. Työkoneita [Järvinen ym. 2017.]

Metsäkoneiden eli tyypillisesti hakkuukoneiden (kuvan 1 vasen yläkulma) ja metsätraktoreiden (ei kuvassa) keski-ikä on kuusi vuotta. Maansiirtokoneiden (kaivinkoneet, pyöräkuormaajat ja dumpperit) keski-ikä on noin 15 vuotta. Edellä mainituille koneille kertyy vuodessa pyöreästi 2 000 tuntia käyttöaikaa ja moottorin peruskorjausväli on noin 8 000–10 000 tuntia. Koneiden huoltoväliä osuu yleensä 200–500 tunnin välille. [Nylund ym. 2016: 5–6.]

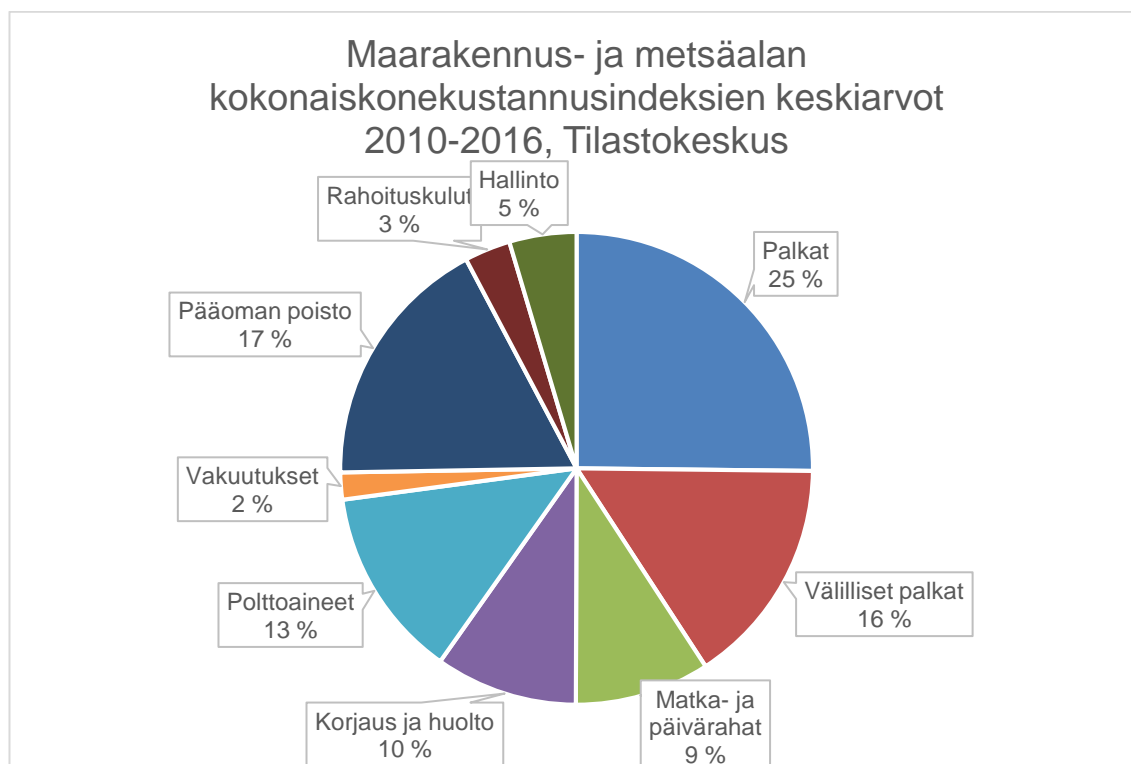
2.5 Energiankulutus

Yritykselle mahdollinen hyöty mallin käytöstä muodostuu lopulta energiankulutuksen hahmottamisesta yksittäisten työkoneneiden tasolla.

Edellä mainituissa suurissa maarakennus- ja metsäkoneyrityksissä kevyen polttoöljyn ja dieselin kulutus voi lähennellä 500 kuutiometriä vuodessa, joka kattaa yli 95 % yrityksen koko energiantarpeesta [Järvinen ym. 2017].

Energiankulutus vaikuttaa suuresti yrityksen kannattavuuteen. Tilastokeskuksen maarakennus- ja metsäkonealojen konekustannusindeksien mukaan yritysten kulujen kokonaisindeksistä noin 12–14 prosenttia muodostuu polttoainekuluista [Virokannas ym. 2017]. Säästöt polttoainekuluissa saattavat olla joissain yrityksissä kannattavin mahdollinen säästökohde.

Kuvassa 2 alla on havainnollistettu kuluja maarakennus- ja metsäkonealoilla.



Kuva 2. Keskiarvotetut kokonaiskonekustannusindeksit aloilta [Virokannas ym. 2017.]

2.6 Hiilidioksidipäästöt

Työkoneista muodostuvat hiilidioksidipäästöt (CO₂-päästöt) ovat Suomessa huomattavat. Tieliikenteen ja työkoneiden yhdistetyt CO₂-päästöt olivat Teknologian tutkimuskeskuksen (VTT) ylläpitämän *Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmän* (LIPASTO) arvioinnin mukaan vuonna 2016 noin 13,9 miljoonaa tonnia. Työkoneiden osuus hiilidioksidipäästöistä oli noin 2,3 miljoonaa tonnia, joka vastaa noin 17 % yhdistetyistä päästöistä. [LIPASTO 2017.]

Dieselmääräisten ajettavien työkoneiden CO₂-päästöt olivat vuonna 2016 noin 2,0 miljoonaa tonnia, joka vastaa 84 % kaikista työkoneperäisistä hiilidioksidipäästöistä [LIPASTO 2017]. Muut työkonelajit LIPASTOssa ovat siirrettävät dieselmääräiset työkoneet sekä ajettavat että siirrettävät bensinimääräiset työkoneet. Dieselmääräiset ajettavat työkoneet ovat listattu LIPASTO:n mukaisiin ryhmiin liitteessä 1. Liitteessä keltaiset rivit liittyvät maarakennuspuolen koneisiin ja vihreät metsäkonepuolen koneisiin.

Suomen CO₂-kokonaispäästöt olivat vuonna 2016 Tilastokeskuksen pikaennakkotietojen mukaan noin 47,6 miljoonaa tonnia [Suomen kasvihuonekaasupäästöt 2016]. Työkoneiden osuus oli siis noin 5 % kaikista Suomen hiilidioksidipäästöistä vuonna 2016.

Työkoneiksi lasketaan paljon eri koneita. Määrällisesti valtaosa muodostuu traktoreista. Dieselmääräisiä ajettavia työkoneita on Suomessa noin puoli miljoonaa (456 000). Koneita, joita käytetään muun muassa maarakennus- ja metsäalalla, on Suomessa suhteellisesti vähän (44 000), mutta tämä ryhmä vastaa noin 54 % kaikkien dieselmääräisten ajettavien työkoneiden kulutuksesta ja päästöistä (yhteensä työkoneiden 2,0 miljoonasta tonnista hiilidioksidia, josta 1,1 miljoonaa tonnia hiilidioksidia kyseisistä koneista). Huomionarvoista toki on, että koneita joita käytetään maarakennus- ja metsäaloilla, käytetään myös monilla muilla aloilla, esimerkiksi kaivosalalla. Ja muun muassa pyöräkuormaajia, LIPASTO:n hiilidioksidipäästöillisesti toiseksi suurinta työkonerihmää, käytetään monilla eri aloilla. [LIPASTO 2017.]

Työkonemoottoreiden CO₂-lainsäädäntö

Toistaiseksi työkoneiden voimanlähteet eivät ole raja-arvollisen CO₂-päästölainsäädännön piirissä. Työkonemoottorit kuuluvat Euroopassa tällä hetkellä (2017) Stage IV -lainsäädäntöön, joka ei rajoita CO₂-päästöjä millään tavalla. Stage IV -lainsäädäntö säätelee hiilimonoksidi-, hiilivety-, hiukkas- ja typenoksidipäästöjä. [Nylund ym. 2016: 12.]

Edellä mainittuja säädeltyjä päästöjä, siis muita kuin CO₂-päästöjä, on pystytty vähentämään tehokkaasti modernilla tekniikalla. CO₂-päästöjen vähentäminen polttomootoreista teknisillä ratkaisuilla on hankalampaa kuin muiden päästöjen vähentäminen. Hiili-dioksidi on polttoaineen palamisen toinen päätuote veden kanssa. Tästä johtuen päästöjen pääasiallinen hillitsemiskeino on polttoaineen kulutuksen vähentäminen. VTT on arvioinut, että moottoreiden hyötysuhteita parantamalla voisi vielä vähentää CO₂-päästöjä noin 15 prosenttia nykyisestä tasosta [Nylund ym. 2016: 15]. Moottoreiden hyötysuhteet ovat kuitenkin jo korkealla tasolla ja viimeisten ideaalisten prosenttien käyttöönotto teknisillä ratkaisuilla on haastavaa.

Lisäksi Stage-lainsäädännöstä johtuen CO₂-päästöt ovat saattaneet joidenkin koneiden kohdalla kasvaa. Esimerkiksi osa katalysaattoritekniikasta, jolla hillitään muita päästöjä kuin CO₂-päästöjä, kasvattaa energiantarpeensa vuoksi polttoaineenkulutusta.

Tuleva Stage V -lainsäädäntö saattaa edelleen kasvattaa CO₂-päästöjä tiukentuvien hiukkaspäästösäädäntöjen vuoksi. Hiukkassuodattimen ihanteellisen toiminnan takaamiseksi pakokaasujen lämpötilaa tulee pitää yllä; tämä lämpötilan ylläpito saattaa vaatia polttoainetta. Stage V:ssä hiukkaspäästösäädäntö tiukentuu erityisesti pienemmissä koneissa, joissa ei ole aiemmin ollut hiukkassuodattimia. Tämä taas ohjaa jatkossa moottorivalmistajia suosimaan hiukkassuodattimia pienemmissä moottoreissa. [Nylund ym. 2016: 12–13.]

3 Energiaseurantamalli

3.1 Lähtökohdat

Energiaseurantamallin selkeä pääpaino oli kevyen polttoöljyn seurannalla. Selkeyden vuoksi tästä eteenpäin kevyestä polttoöljystä ja dieselöljystä puhutaan dieselinä. Polttoaineiden ero on ennen kaikkea verotuksellinen, kemiallinen ero on pieni. Yleistys ei ole kuitenkaan täysin ongelmaton. Selkeästi yleisin polttoaine Suomessa työkoneissa on polttoöljy, mutta työkoneissa ja muussa kalustossa voidaan yhtä lailla käyttää dieseliä. Diesel sisältää Suomessa vaihtelevasti biokomponenttia. Vuonna 2017 se oli 13 %. Biokomponentin lisäys dieseliin laskee sen CO₂-päästöjä, mutta sitä ei ole insinööriyössä tarkemmin huomioitu. [Mäkelä 2018.]

Yksilöllisiä laitetyyppejä ei katsottu olevan tarpeen erotella työkoneiden valtavan kirjon vuoksi. Lähes poikkeuksetta käsiteltävien työkoneiden voimanlähde on dieselmoottori ja yksinkertaistettuna kyse on polttoaineen kemiallisen energiasisällön muunnosta työksi.

Polttoaineen kulutus sidottiin työkoneen käyttötunteihin, jotta kulutus kohdentui johonkin kulutuksesta muodostuvaan hyötyyn. Kaikista työkoneista löytyy kokonaiskäyttötuntimittari. Se kertoo työkoneen käymät kumulatiiviset tunnit. Sitä voisi verrata henkilöautojen kokonaismatkamittariin arvioitaessa, paljonko konetta on käytetty.

Koska työssä käsiteltiin koneita ja työlajeja laajalti eri aloilta, Koneyrittäjät eivät katso-neet tarpeelliseksi kohdentaa polttoaineenkulutusta työsuorituksesta syntyvään tulokseen tai tuotteeseen muuten kuin käyttötuntien osalta. Esimerkiksi maarakennuspuolella työn tulosten kohdentaminen kulutukseen olisi haasteellista – kovan maan kaivaminen vaatii aivan eri määrän energiaa kuin pehmeän maan.

Modernit työkoneet keräävät dataa käytöstään automaattisesti, mutta malliin haluttiin sisällyttää kaikki työkoneet. Merkittävä osa työkoneista on yli 15 vuotta vanhoja. Konevalmistajien ja heidän tarjoamien verrattain uusien tietokonesovellusten ja -alustojen kirjo on laaja. Laskentamallia ei ole suunniteltu kommunikoidaan automaattisesti muiden sovellusten kanssa. Yritys voi halutessaan kopioida energiankulutustietoja sovelluksistaan malliin, jättäen väliin tietojen keräämisen työkoneiden tankkauksien yhteydessä.

Seurannan aikajaksoiksi päätettiin kuukausittainen taso, josta malli muodostaa myös vuosipohjaista tietoa. Malli ulottuu toistaiseksi vuoden 2022 loppuun. Suunnittelua pidemmälle ei koettu tarpeelliseksi ja mallin päivittäminen tulevaisuudessa jätettiin avoimeksi.

Mallin ensimmäiseksi alustaksi sovittiin Excel, sen tunnettuuden ansiosta. Alustaksi oli ensin ajateltu erilaisia verkkopohjaisia sovelluksia, mutta hankkeen aikaisessa vaiheessa tätä ei katsottu lopulta tarpeelliseksi. Itse abstraktin mallin tuli kuitenkin olla selkeä, jotta mahdollinen alustan vaihto olisi vaivaton.

3.2 Rakenne

Seuraavissa alaluvuissa käsitellään valmista energiaseurantamallia ja sen ominaisuuksia sen rakenteellisessa järjestyksessä.

Seurantamallin rakenne käyttäjän näkökulmasta on seuraava:

- ohjesivu seurantamallin käytön ohjeistamiseen
- aloitussivu ensitietojen antamiseksi yrityksestä ja työkoneista
- tulostettava seurantalomake -sivu seurannan helpottamiseksi työkoneiden tankkauksien yhteyteen
- yksilölliset konesivut työkoneiden polttoainekulutuksen kirjaukselle malliin
- koontisivu yrityksen kokonaisenergiankulutuksesta
- viitehakusivu kulutustietojen hakemiseksi viitteen perusteella.

3.2.1 Ohjesivu

Mallin käyttö alkaa ohjesivuun tutustumisella, jossa esitellään mallia kevyesti ja opastetaan sen käytön aloittamisessa.

Selkeyden vuoksi ohjesivulta löytyvät tiedot seurantamallin käyttäjälle selostetaan tässä raportissa käsiteltävän asian yhteydessä.

3.2.2 Aloitusivu

Aloitussivulle käyttäjä kirjaa lähtötietoja yrityksestä, työntekijöistä ja kalustosta. Koneista syötetään malliin tietoa yksilöintiä, seurantaan ja laskentaa varten. Kuva 3 alla esittelee aloitussivua.

	A	B	C	D
1				
2	Yrityksen nimi			
3				
4	Konekanta	Kone 1	Kone 2	Kone 3
5	Nimi			
6	Käyttöönotto [kk/vvvv]			
7	Nimellisteho [kW]			
8	Konetyyppi			
9	Käyttötarkoitus			
10	Polttoaine			
11	CO2 ominaispäästöt [kg/l]			
12				
13	Työntekijät	Työntekijä 1	Työntekijä 2	Työntekijä 3
14	Nimi			
15				
16	Säiliöt	Säiliö 1	Säiliö 2	Säiliö 3
17	Nimi			
18				

Kuva 3. Mallin aloitusivu

Harmaat ja valkoiset kehystetyt Excel-solut ovat soluja, jotka käyttäjä täyttää. Keltaisen eri sävyisiin soluihin tiedot täyttää laskentamalli.

Järjestelmään voi syöttää 12 työkonetta, 20 työntekijää ja 10 polttoainesäiliötä. Nämä määrät on arvioitu kattavan Koneyrittäjien jäsenyrityksien tarpeet.

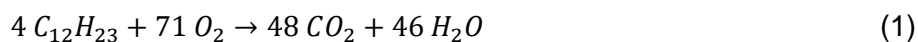
Työntekijät ja säiliöt listataan mallissa, jotta niihin voi kohdentaa kirjaustietoja. Lisäksi yhtenäinen listaus alussa ja myöhemmän kirjaamisen osittainen rajoittaminen vain listattuihin tietoihin auttaa kohdentamaan kirjauksia oikein myöhemmissä käytön vaiheissa. Esimerkiksi oikeinkirjoittamisen vaatimus joka kirjaukselle voisi aiheuttaa ongelmia, joten malli antaa esitäytettyjä vaihtoehtoja konesivuilla kirjauksille, kun ne on kerran täytetty aloitussivulle.

Polttoaineet

Polttoaineen laatu vaikuttaa sen palamisesta syntyviin päästöihin. Polttoainevaihtoehtoina ovat mallissa diesel, bensiini ja muu, jolloin käyttäjä täyttää itse työkoneen CO₂-ominaispäästöt. Ylimääräinen vaihtoehto *muu* on mallissa mahdollisia erikoisseoksia varten, kuten uusiutuva diesel.

Palaminen tarkoittaa aineen kemiallista reaktiota hapen kanssa. Reaktio on eksotermiinen, eli se luovuttaa energiaa ympäristöönsä. Tätä energiaa polttomoottori hyödyntää, muuntaen polttoaineen kemiallisen energian mekaaniseksi energiaksi, jolla voi tehdä työtä.

Eri polttoaineiden palamisen yhtälöt riippuvat niiden kemiallisesta rakenteesta. Pelkästään eri diesellajeja on useita, joten niiden palamisen yhtälöissä on eroavaisuuksia. Dieselin palamisreaktion kannalta voidaan kuitenkin yleisesti ajatella palavan seoksen olevan hiilivety C₁₂H₂₃ kemialliselta kaavaltaan [Diesel Fuel 2017]. Tällaista kaavaa kutsutaan empiiriseksi kaavaksi. Todellisuudessa diesel on useiden nestemäisten hiilivetyjen seos, josta empiirinen kaava on keskiarvo. Kaavan avulla voi kuitenkin muodostaa dieselin palamiselle tasapainotetun yhtälön 1 alla.



Yhtälössä neljä ensin mainittua hiilivetymolekyyliä reagoivat 71 happimolekyylin kanssa ja reaktiotuotteina syntyy 48 molekyyliä hiilidioksidia ja 46 molekyyliä vettä.

Kaava on stoikiometrinen eli lähtöaineet muuttuvat reaktiossa täydellisesti tuotteiksi. Toisin sanoen reaktiosta ei jää mitään yli. Todellisuudessa kemiallisissa reaktioissa lähtöaineet muuttuvat harvoin täydellisesti tuotteiksi. Dieselmoottorit käyvät niin sanotusti laihalla. Tämä tarkoittaa sitä, että palamiselle on käytössä enemmän ilmaa kuin täysin stoikiometrisessä palamisessa. Laihalla palaminen parantaa dieselmoottorin hyötysuhdetta tiettyyn pisteeseen saakka ja laskee esimerkiksi palamisesta muodostuvia hiilivetypäästöjä. Lisäksi palamisen stoikiometrisyys vaihtelee moottorin kuormituksen mukana. [Lean-burn 2017.]

Aiemmasta yhtälöstä 1 saa kuitenkin suuntaa antavia arvoja palamisesta muodostuville CO₂-päästöille. Laskemalla komponenttien moolimassat (M, yhtälöt 2–5) päästään kiinni palamisen komponenttien suhteellisiin määriin.

$$M_{C_{12}H_{23}} = 4 C_{12}H_{23} = 4(12,01 \frac{g}{mol} * 12 + 1,008 \frac{g}{mol} * 23) = 669,22 \frac{g}{mol} \quad (2)$$

$$M_{O_2} = 71 O_2 = 71 * (16,00 \frac{g}{mol} * 2) = 2272,00 \frac{g}{mol} \quad (3)$$

$$M_{CO_2} = 48 CO_2 = 48 * (12,01 \frac{g}{mol} + 16,00 \frac{g}{mol} * 2) = 2112,48 \frac{g}{mol} \quad (4)$$

$$M_{H_2O} = 46 H_2O = 46 * (1,008 \frac{g}{mol} * 2 + 16,00 \frac{g}{mol}) = 828,74 \frac{g}{mol} \quad (5)$$

Syntyvien hiilidioksidipäästöjen määrää voi arvioida yhtä dieselkilogrammaa kohden ainemäärien (n), massojen (m) ja moolimassojen suhteiden avulla kaavalla 7.

$$n = \frac{m}{M} \quad (7)$$

Ainemäärät pysyvät reaktiossa vakiona, joten hiilidioksidin massa yhtä dieselkilogrammaa kohden voi laskea kaavalla 8, joka on käytännössä moolimassojen suhde.

$$\frac{m_{C_{12}H_{23}}}{M_{C_{12}H_{23}}} = \frac{m_{CO_2}}{M_{CO_2}} \Leftrightarrow m_{CO_2} = \frac{m_{C_{12}H_{23}} M_{CO_2}}{M_{C_{12}H_{23}}} = \frac{1,000 \text{ kg} * 2112,48 \frac{g}{mol}}{669,22 \frac{g}{mol}} = 3,157 \text{ kg} \quad (8)$$

Energiaseurantamallissa käytetään käytännön syistä tilavuutta kuvaamaan polttoainemääriä massan sijaan. Dieselin tilavuus on 0,832 kg/l, joten yhden diesellitran täydellisestä palamisesta syntyy kaavan mukaisesti hiilidioksidipäästöjä (ominaispäästöjä) 2,62 kgCO₂/lC₁₂H₂₃ [Diesel Fuel].

Energiaseurantamallissa on tästä laskennasta huolimatta käytetty LIPASTOsta saatavia keskiarvotettuja ominaispäästöjä työkoneille todellisempien arvojen saanniksi dieselille: 2,66 kgCO₂/lC₁₂H₂₃ ja bensiinille 2,19 kgCO₂/lbensiini [LIPASTO 2017]. Lisäksi jos mallin käyttäjälle on tarkempia tietoja työkoneiden ominaispäästöistä, tulisi ne täyttää malliin käsin. Mallin valmiit arvot ovat suuntaa antavia.

Opinnäytetyössä ja energiatehokkuushankkeessa hiilidioksidilla oli pääpaino päästöjä huomioitaessa. Kaikkien kasvihuonekaasupäästöjen huomioiminen ei kasvata työkoneiden kokonaiskasvihuonekaasupäästöjä merkittävästi. Päästöillä on tosin muitakin vaikutuksia ympäristöön kuin kasvihuoneilmiön kiihdyttäminen.

3.2.3 Polttoaineseurantalomake

Seuraava vaihe seurantamallissa on polttoaineenkulutuksen seuranta, joka tapahtuu seuraamalla työkoneiden tankkauksia.

Malliin on sisällytetty tulostettava polttoaineseurantalomake (liite 2), jota on tarkoitus pitää työkoneessa mukana ja työkoneen kuljettajan kirjata siihen aina tankkauksen yhteydessä tietoja tankkauksesta.

Lomakkeeseen tulisi kirjata vähintään seuraavat tiedot:

- päivämäärä
- käyttötunnit
- tankkauksen tilavuudellinen määrä
- säiliö, josta työkoneeseen on tankattu
- kirjaaja.

Lisäksi lomakkeesta löytyy kohdat *työnlaji*, *viite* ja *huomioita* tarkempia kirjauksia varten.

Käyttötunneiksi merkitään kumulatiiviset mittarin kokonaiskäyttötunnit. Näin kirjaajan ei tule välttämättä tietää edellisen tankkauksen käyttötunteja, ja näin kirjauksia ei ole tarpeen huomioida kuin tankkauksien yhteydessä. Laskentamalli laskee automaattisesti käyttötuntien erotuksen, jotta tuntikulutuksen voi laskea.

Yksi seurannan haasteista on pystyä mittaamaan tarkasti jokainen tankkaus. Kaikkien polttoainepumppujen yhteydestä ei löydy tilavuusvirtamittaria.

Polttoaineen kulutusta, siitä muodostuvaa energiaa ja päästöjä voi ajatella aineen ja energian virtauksena sekä olomuodon muutoksina. Siksi tankkauksen säiliö tulisi mer-

kitä, jotta polttoaineen virtauksen reittiä voi myöhemmin halutessaan tarkastella. Prosessi noudattaa termodynamiikan pääsääntöjä. Erityisesti mallissa on huomioitu ensimmäistä termodynamiikan pääsääntöä, joka koskee energian säilymistä. Energiaa ei missään vaiheessa prosessia häviä, se vain muuttaa muotoaan.

3.2.4 Konesivut

Seuraava vaihe energiaseurannassa on tankkaustietojen siirtäminen polttoaineseurantalomakkeesta seurantamallin Excel-laskentamallin konesivuille. Kuva 4 alla.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Nimi	0									
2	Polttoaine	0									
3	CO2 ominaispäästöt [kg/l]										
4	Kokonaiskulutus [l]	0									
5	Kokonaispäästöt [kg CO2]	#VALUE!									
6											
7	Vuosi	Kuukausi	Päivämäärä	Käyttötunnit [h]	Tankattu [l]	Säiliö	Työnlaji	Urakka viite	Huomioita	Kirjaaja	Päästöt [kg CO2]
8	2017	11	1.11.2017								
9	2017	11	2.11.2017								
10	2017	11	3.11.2017								
11	2017	11	4.11.2017								
12	2017	11	5.11.2017								
13	2017	11	6.11.2017								
14	2017	11	7.11.2017								
15	2017	11	8.11.2017								
16	2017	11	9.11.2017								
17	2017	11	10.11.2017								
18	2017	11	11.11.2017								
19	2017	11	12.11.2017								
20	2017	11	13.11.2017								
21	2017	11	14.11.2017								
22	2017	11	15.11.2017								
23	2017	11	16.11.2017								
24	2017	11	17.11.2017								
25	2017	11	18.11.2017								
26	2017	11	19.11.2017								
27	2017	11	20.11.2017								
28	2017	11	21.11.2017								
29	2017	11	22.11.2017								
30	2017	11	23.11.2017								
31	2017	11	24.11.2017								
32	2017	11	25.11.2017								
33	2017	11	26.11.2017								
34	2017	11	27.11.2017								
35	2017	11	28.11.2017								
36	2017	11	29.11.2017								
37	2017	11	30.11.2017								
38	2017	11	yhteensä	#NUM!	0	Keskiarvo tuntikulutus [l/h]:			#NUM!		0
39	2017	12	1.12.2017								

Kuva 4. Kone-sivu Excel-työkalussa

Konesivulta löytyy käyttäjän täytettäväksi samat sarakkeet kuin käsin täytettävästä polttoaineseurantalomakkeesta.

Sivun vasemmasta yläkulmasta löytyvät tiedot malli täyttää automaattisesti. Nimi-, polttoaine- ja ominaispäästötiedot siirtyvät aloitussivulta helpottamaan työkoneen yksilöintiä.

Kokonaiskulutuksen Excel laskee tankkauksien summana, ja kokonaispäästöt ovat ominaispäästöjen ja kokonaiskulutuksen tulo. Jos yhtä työkonetta käytetään useilla eri polttoaineilla, niin se tulee kirjata malliin kahteen kertaan eri polttoainetiedoilla, jotta päästöt saadaan laskettua tarkasti polttoainekohtaisesti. Esimerkiksi siis, jos työkoneella käytetään satunnaisesti uusiutuvaa dieseliä.

Kun malliin on täytetty kuukauden kirjaukset, malli laskee kuukauden käyttötunnit, tankkauksien ja niistä muodostuvien CO₂-päästöjen summat sekä tuntikulutuksen keskiarvon kuukaudelta. Konesivulta löytyy myös kulutustietoihin pohjautuvia kaavioita kulutuksen hahmottamisen helpottamiseksi.

Kuva 5 alla tuntikulutuksen kuukausittaisista keskiarvoista.



Kuva 5. Konekohtainen tuntikulutuskuva konesivulla

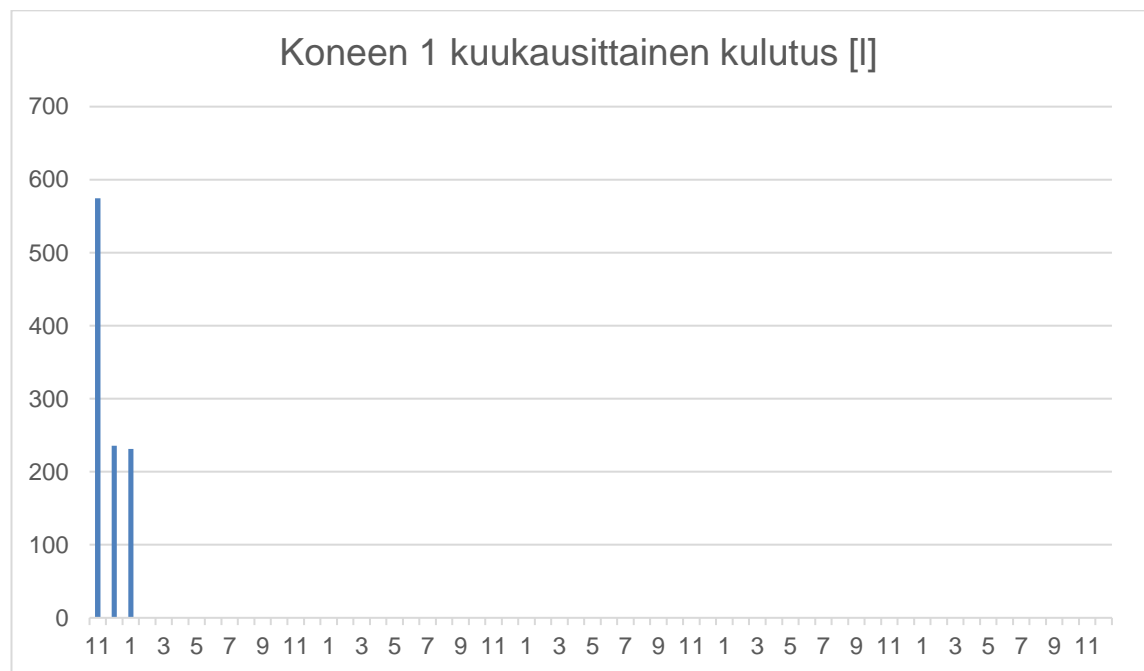
Pystypalkit ovat kuvassa yksittäisiä kuukausia, ja palkin korkeus kuvaa tuntikulutuksen suuruutta. Vaaka-akselilla ovat kuukaudet marraskuulta 2017 joulukuuhun 2022.

Mallin laskennassa on huomioitava, että polttoaineen kulutus toteutuu vasta polton jälkeen ja näin ollen tuntikulutustiedot eivät ole täysin tarkkoja. Mitä useampi kirjaus kuukaudelle tulee, sitä lähemmäs todellista kulutusarvoja mallilla päästään. Malli ei laske

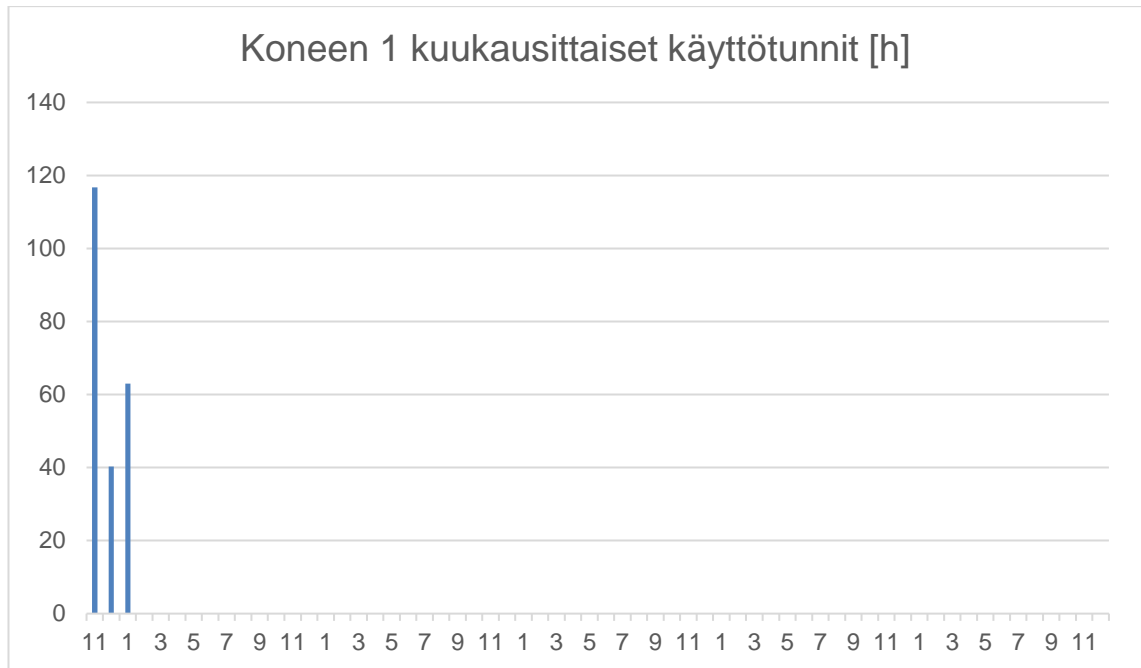
tarkoituksella yksittäisistä kirjauksista tuntikulutusta, koska tankkaus ei ole yhtä kuin kulutus.

Jos malliin unohdetaan kirjata tankkaus, inhimillisestä virheestä johtuen, niin virhe vääristää mallin antamia tietoja. Käyttötunnit lasketaan edellisen ja käsiteltävän kuukauden suurimpien käyttötuntien erotuksena, jolloin tankkauksen kirjaamatta jättäminen vaikuttaa tuntikulutukseen laskevasti, koska malli huomioi käydyt tunnit, mutta ei kirjaamatta jätetyn tankkauksen määrää. Malliin onkin parempi antaa arvio unohtuneesta tankkauksesta kuin jättää se huomioimatta kokonaan.

Konesivuilta löytyy myös kuvaajat kuukausittaisesta kulutuksesta ja kuukauden käyttötunneista. Kuvat 6 ja 7 alla.



Kuva 6. Konekohtainen kuukausikulutus



Kuva 7. Kuukauden käyttötunnit

Kuvaajien on tarkoitus helpottaa kulutuksen muutosten seuraamista. Vertailemalla koneen kuukausittaista kokonaiskulutusta, käyttötunteja ja tuntikulutuksen keskiarvoa tulisi pystyä tekemään päätelmiä kulutuksen kehityksestä.

Jos yrityksessä pyritään esimerkiksi vähentämään joutokäyntiä tietyllä työkoneella, niin kuvaajissa se näkyisi tuntikulutuksen nousuna, mutta kuukausikulutuksen ja käyttötuntien laskuna, jos koneella olisi tehty yhtä paljon työtä kuin vertailukuukausina.

Jos taas yrityksessä halutaan ryhtyä energiansäästötoimiin tietyn koneen kanssa, sekä tuntikulutuksen että kuukausikulutuksen tulisi alkaa osoittamaan alaspäin, kun vain koneen tuotto pysyy ennallaan.

Mallissa on tärkeää aloittaa seuranta ennen kuin energiatehokkuustoimiin ryhdytään, jotta tietoa on vertailua varten ajalta ennen ja jälkeen toimien.

Muiden ajoneuvojen syöttö malliin

Koneyrityksillä on myös henkilö-, paketti- ja kuorma-autoja. Jotta malli kattaisi yrityksen koko energiankulutuksen, tulee myös ajoneuvot ja kuljetuskalusto huomioida. Malliin on mahdollista syöttää ajoneuvo työkoneena ja korvata käyttötunnit kilometreillä. Käyttäjän

on tosin huomioitava, että malli ei anna tällöin käyttötuntikohtaista vaan kilometrikohtaista tietoa. Malli on ensisijaisesti kehitetty työkoneille, eivätkä esimerkiksi kuvaajien yksiköt päivity tuntikohtaisista [l/h] kilometrikohtaisiksi [l/km]. Kokonaisenergiankulutukseen ja siitä muodostuviin päästöihin käännös käyttötunneista kilometreiksi ei vaikuta. Halutessaan yritys voi myös tehdä kaksi kopiota mallista ja kirjata toiseen käyttötuntilaskennalliset kohteet ja toiseen kilometrilaskennalliset kohteet.

3.2.5 Koontisivu

Koontisivulle Excel kokoaa keskitetysti tiedot työkoneista ja sinne on mahdollista kirjata tietoa yrityksen koko energiankulutuksesta. Kuvassa 8 alla on kuva koontisivusta.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Kiinteistöt	Kiinteistö 1	Kiinteistö 2	Kiinteistö 3	Kiinteistö 4	Kiinteistö 5		
2	Nimi							
3	Lämmitysmuoto						Kokonaiskulutus	Energia [kWh/a]
4	Lämmitys ja sähkö 2017 [kWh/a]						2017	
5	Lämmitys ja sähkö 2018 [kWh/a]						2018	
6	Lämmitys ja sähkö 2019 [kWh/a]						2019	
7	Lämmitys ja sähkö 2020 [kWh/a]						2020	
8	Lämmitys ja sähkö 2021 [kWh/a]						2021	
9	Lämmitys ja sähkö 2022 [kWh/a]						2022	
10								
11	Konekanta	Kone 1	Kone 2	Kone 3	Kone 4	Kone 5	Kone 6	Kone 7
12	Nimi							
13	Polttoaine							
14	CO ₂ ominaispäästöt [kg/l]							
15	Kokonaiskulutus [l]	0	0	0	0	0	0	0
16	Kokonaispäästöt [kg CO ₂]							
17								
18	Kone	Vuosi	Kuukausi	Käyttötunnit [h]	Tankattu [l]	Polttoaine	Ka tuntikulutus [l/h]	Päästöt [kg CO ₂]
19		2017	11	#NUM!	0		#NUM!	0
20		2017	11	#NUM!	0		#NUM!	0
21		2017	11	#NUM!	0		#NUM!	0
22		2017	11	#NUM!	0		#NUM!	0
23		2017	11	#NUM!	0		#NUM!	0
24		2017	11	#NUM!	0		#NUM!	0
25		2017	11	#NUM!	0		#NUM!	0
26		2017	11	#NUM!	0		#NUM!	0
27		2017	11	#NUM!	0		#NUM!	0
28		2017	11	#NUM!	0		#NUM!	0
29		2017	11	#NUM!	0		#NUM!	0
30		2017	11	#NUM!	0		#NUM!	0
31		2017	12	#NUM!	0		#NUM!	0
32		2017	12	#NUM!	0		#NUM!	0

Kuva 8. Koontisivu

Sivun käyttö alkaa vuosittaisilla lämmitys- ja sähkönkulutustietojen antamisella vasempaan yläkulmaan. Tiedot kirjataan, jotta yrityksen koko energiankulutuksen voi kattaa.

Lämmitys- ja sähkönkulutus koneyrityksissä ovat pieniä verrattuna polttoaineenkulutukseen energiankulutuksellisesti, joten niiden painoarvo on pieni mallissa.

Työkoneiden ja muiden kohteiden energiankulutus summataan sivun oikeaan yläkulmaan. Energian yksikkönä mallissa on käytetty kilowattituntia (kWh) ja tässä yhteydessä kyse on primäärienergiasta eli polttoaineen tai muun energianlähteen energiasisällöstä.

Työkoneiden hyötysuhteet vaihtelevat suuresti ja toistaiseksi dieselmootoreilla päästään ihanteellisimmillaan noin 40 prosentin hyötysuhteeseen. Hyötysuhde kuvaa sitä suhdetta, jonka polttoaineen kemiallisesta energiasta moottori voi muuttaa mekaaniseksi energiaksi. Sekundäärienergia tässä yhteydessä on työkoneen mekaaninen energia, toisin sanoen moottorin avulla polttoaineesta saatu energia.

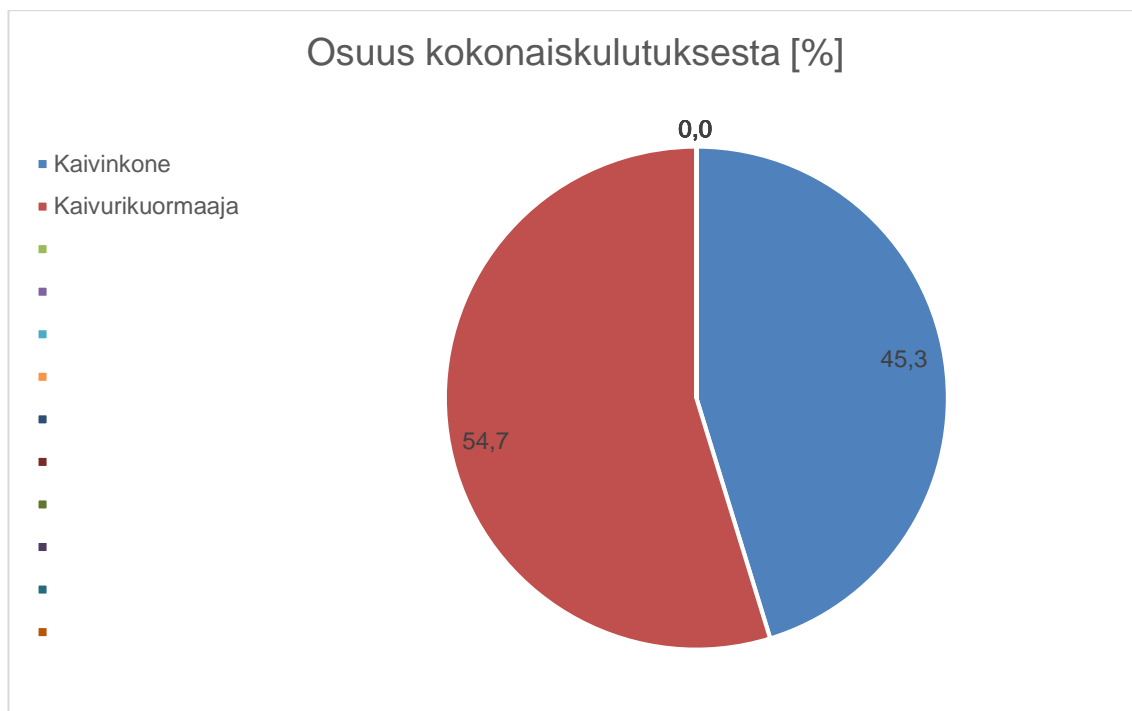
Energiaseurantamallissa käsiteltävää energiaa voi ajatella yleisesti primäärienergiana. Lämmityksen ja sähkön yhteistuotannossa päästään lähelle 100 prosentin hyötysuhdetta. Tällöin primääri- ja sekundäärienergia ovat lähellä toisiaan. Ja vaikka kiinteistöjen lämmitys olisikin esimerkiksi öljylämmiteinen, päästään näilläkin ratkaisuilla korkeaan hyötysuhteeseen. Sekundäärienergian laskenta työkoneille olisi monimutkaista hyötysuhteiden vaihtelun vuoksi työkoneiden välillä, joten mallissa käytetään primäärienergiaa kuvaamaan energiamäärää, esimerkiksi sähkölasku yrityksille tulee toteutuneen sekundäärienergian mukaan.

Mallissa yrityksen vuosittainen kokonaisenergiankulutus muodostuu lämmityksen, sähkön ja polttoaineiden energiamäärien summasta. Jokaisella polttoaineella on ominainen tilavuuskohtainen energiasisältö, ominaisenergia (kWh/l), ja jotta yksiköt menisivät yhteen kokonaisenergiankulutusta laskettaessa, on työkoneen kuluttaman polttoaineen kokonaistilavuus (l) kerrottu sen energiasisällöllä, jolloin saadaan laskettua polttoaineen sisältämän primäärienergian määrä.

Seuraavaksi koontisivulta löytyy tietoa konekannasta ja työkoneiden kokonaiskulutuksesta.

Koontisivun alaosa on kuukausikohtaisten kulutustietojen aikajärjestyksellinen listaus ja sen mahdollistama käyttö tietojen vertailulle ja tarkastelulle. Sivulle nousee kuukausittaisia ja vuosittaisia tietoja konesivuille syötettyjen tietojen perusteella.

Kuvasta 8 puuttuu konesivulta löytyvä piirakkakaavio koneiden kokonaiskulutuksen osuuksista, jonka tarkoitus on auttaa käyttäjää hahmottamaan suurimmat polttoaineenkuluttajat. Esimerkkikuva 9 piirakasta alla.



Kuva 9. Esimerkki koneiden polttoaineenkulutuksen osuuksista

Jos kaikilla koneilla olisi sama säästöpotentiaali energian suhteen, niin suurimmat säästöt muodostuisivat luonnollisesti säästötoimenpiteillä suurimmissa polttoaineenkuluttajissa. Toisin sanoen piirakkakaavion on tarkoitus auttaa tunnistamaan kannattavimmat säästökohteet.

3.2.6 Viitehaku sivu

Mallissa on viitehaku sivu kulutustietojen hakemiseksi viitteen perusteella. Malli hakee kulutustiedot merkittyjen viitteiden avulla. Alla kuva 10 viitehaku sivusta.

	A	B	C	D	E
1	Haettava viite	esimerkiksi Haapatie			
2	Kone	Kaikki koneet yhteensä	Kone 1	Kone 2	Kone 3
3	Nimi				
4	Kulutus [l]	0			
5	Polttoaine				
6	Ominaispäästöt [kg CO ₂ /l]				
7	Päästöt [kg CO ₂]	0	0	0	0

Kuva 10. Viitehaku sivu.

Sivulle syötetään haettava viite, kuvassa 5 solu B1. Viite on syötettävä täydellisesti, jotta malli löytää sille kirjatut tiedot. Viitteen perusteella löytyvät kulutustiedot malli summaa yhteen ja näyttää ne käyttäjälle.

Käytännössä sivu siis kokoaa esimerkiksi yhden urakan kulutustiedot eri työkoneilta yhteen, kun ne on merkitty saman viitteen alle.

3.3 Mallin kokeilu pienessä maarakennusyrityksessä

Kaivinkoneurakoitsija Timo Laiho otti mallin käyttöön marraskuulta 2017 tammikuuhun 2018. Laiholla on kaksi työkonetta, ja hän on yrityksen ainoa työntekijä.

Kirjauksien ylläpitäminen oli vaivatonta, mutta Laiho tunsu ennestään energiankulutuksen työkoneissaan hyvin, joten mallin hyödyt jäivät hänelle vähäisiksi. Mallista onkin eniten hyötyä yrityksille, joiden energiankulutusta ei vielä tunneta tarkasti.

4 Energiatehokkuus

Energiaseurantamallin kehittäminen oli Koneyrittäjien liiton ensimmäinen askel energiatehokkuuteen liittyvissä hankkeissa. Jatkossa liiton olisi tarkoitus edelleen kehittää energiatehokkuutta alallaan. Tässä luvussa tarkastellaan jatkoa.

Energiatehokkuuden parantamista työkoneissa on Suomessa selvitelty muun muassa Trafín tilaamassa ja VTT:n tekemässä selvityksessä *Työkoneiden CO₂ päästöt ja niihin vaikuttaminen*, joka on ollut myös osa Ympäristöministeriön taustaselvityksiä *Keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelmaan* [Nylund ym. 2016].

Raportissa on seuraavat pääkohdat CO₂-päästöjen vähentämiseksi työkoneissa:

- energiatehokkuuden parantaminen moottorissa
- energiatehokkuuden parantaminen koneessa ja sen laitteissa
- vähähiilisten polttoaineiden suosiminen
- työkoneen käytön tehostaminen. [Nylund ym. 2016: 14.]

Energiatehokkuuden parantamisella moottoreissa tarkoitetaan moottoritekniikan kehittymistä ja sitä kautta moottoreiden hyötysuhteiden paranemista. Energiatehokkuuden parantamisella ajoneuvoissa taas tarkoitetaan esimerkiksi eri hybriditekniikkojen käyttöönottoa, voimansiirron ja työlaiteiden energiatehokkuuden kehittämistä sekä hukkaenergian hyödyntämistä paremmin. Kaikkia näitä tekniikoita kehitetään jatkuvasti alalla. [Nylund ym. 2016: 14.]

Vähähiilisten polttoaineiden laajempi käyttöönotto hillitsisi voimakkaasti kasvihuonekaasupäästöjen (KHK-päästöt) muodostumista. Selvityksen mukaan parhaimmillaan elinkaaren yli tarkasteltuna biopolttoaineilla voisi vähentää 80–90 prosenttia muodostuvista KHK-päästöistä verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin [Nylund ym. 2016: 14]. Korvaavan biopolttoaineen välittömästä palamisesta muodostuu päästöjä aivan kuin fossiilisen polttoaineen palamisesta, mutta välillinen ero muodostuu hiilen kierrossa – elinkaaressa.

Selvityksen kolmen ensimmäisen kohdan kanssa ei ole suoria yhteyksiä energiasurantamallin kanssa päästöjen hillinnässä, muuten kuin seurannan ja sitä kautta energiatehokkuuden kehityksen tukemisessa, mutta työkoneiden käytön tehostamisessa energiasurantamallista voi olla erityisesti hyötyä.

Työkoneen käytön tehostamisella tarkoitetaan muun muassa työkoneen käyttöä optimaalisella kierrosluvulla ja joutokäynnin vähentämistä. Energiasurantamalli tarjoaa työkaluja näihin toimiin.

Joutokäynti on taloudellinen ongelma niin polttoaine- kuin huoltokustannuksellisesti. Työkoneissa joutokäynti ei välttämättä tarkoita, etteikö moottorilla olisi kuormaa (vrt. auto joutokäynnillä), esimerkiksi painevuoto pneumatiikassa aiheuttaa jatkuvaa kuormitusta paineen ylläpitämiseksi, tehtiin koneella työtä tai ei. Tai toinen joutokäyntiin liittyvä ongelma on työkoneiden hydrostaattinen voimansiirto, se saattaa kuormittaa moottoria jopa 10–20 % työn teosta riippumatta [Nylund ym. 2016: 5]. Lisäksi joutokäynti kerryttää käyttötunteja ja vaikuttaa sitä kautta koneen huoltojen tiheyteen, koska huollot tehdään koneisiin tietyin käyttötuntivälein. Toisin sanoen konetta, jolla on paljon joutotunteja, huolletaan liikaa ja huolloista aiheutuu turhia kustannuksia.

5 Yhteenveto

Työn loppuvaiheessa seurantamalli sai nimekseen ESKO (energiaseurantamalli koneyrittäjille).

Mallilla pyritään kannustamaan koneyrityksiä seuraamaan energiankulutustaan ja toimimaan energiatehokkaammin. Seurantamalli saatiin valmiiksi alkuvuodelle 2018 pääta-voite siis saavutettiin.

Alusta

Excelin käyttö alustana laskentamallille oli ajoittain vaikeaa. Excel on suunniteltu käytettäväksi niin, että dataa olisi jo työskentelyä aloittaessa. Excelin avulla sitä voi sitten tarkastella ja käsitellä, mutta Excelin käyttö ohjelma-alustana on hieman nurinkurista. Esimerkiksi PivotTable-työkalua ei pysty käyttämään, ennen kuin dataa on saatu kerättyä ja siten sen hyödyntäminen kehitysvaiheessa oli mahdotonta. PivotTable-työkalulla olisi ollut mahdollista koota esimerkiksi kaikki saman säiliön tankkaukset yhteen.

Jatkossa voi toivoa, että malli jatkaa kehittymistä muihin alustoihin. Ylläpidollisesti olisi yksinkertaisempaa, että tankkaaja voisi syöttää tankkaustiedot mobiililaitteella selainpohjaiseen järjestelmään tankkauksen yhteydessä. Näin papereista, niiden siirtelystä ja tietojen viemisestä Exceliin päästäisiin eroon. Toisaalta tietotekniikan kanssa on omat ongelmansa.

Pääasia on, että malli on niin yksinkertainen, että sen kehityksen haasteet eivät näy loppukäyttäjälle.

Käyttäjälle

Mallin kehittäjä toivoo, että yrityksille olisi aidosti hyötyä mallista. Mallin toiminnallisuus perustuu tankkauksien kirjaamiseen, jota voisi hyvin tehdä, ja tehdäänkin, ilman mallia. Toivottavasti malli on selkeä ja mallin käyttö on vaivatonta, jotta sitä viitsii käyttää.

Palaute

Tätä raporttia kirjoittaessa laskentamallin käyttöä on kokeiltu vasta yhdessä yrityksessä. Palautteen puute mallista on jatkoa ajatellen ongelmallista. Ongelmien esiin nousu ajoissa olisi ollut tärkeää, että mallin mahdolliset virheet ja puutteet ei vaikuta sen suosi-oon.

Päästöt

Työkoneista muodostuvat päästöt yllättivät suuruudellaan. Työkoneiden osuus (5 %) Suomen hiilidioksidipäästöistä on merkittävä. Mittasuhteen antamiseksi työkoneiden käytöstä muodostuvista hiilidioksidipäästöistä voi laskea niiden viemän tilavuuden ilma-kehän paineessa ja nollassa celsiusasteessa. Näissä olosuhteissa hiilidioksidin tiheys on $1,977 \text{ kg/m}^3$, joten 2 miljoonan hiilidioksiditonnin viemä tilavuus on noin miljardi kuu-timetriä [Carbon Dioxide 2017]. Tämä tilavuus vastaa noin 10 tuhatta eduskuntaa [Park-konen 2015].

Tällaisilla määrillä on jo vaikutus ilmastoon. Eikä hiilidioksidin näkymättömyys ja hidas poistuminen ilmakehästä auta ilmastoa. Valitettavasti toistaiseksi päästöt osoittavat ylös-päin vuosi toisensa jälkeen, niin työkonealoilla kuin yleisemmin maailmanlaajuisesti.

Ilmastonmuutoksen nopeuden hidastamiseen on selkeä punainen lanka: fossiiliset polt-toaineet tulisi pitää maaperässä. Ongelma on hiilen kiertokulussa. Hiili joka on miljoonia vuosia ollut poissa kierrosta, vapautuu nyt ilmakehään suurella nopeudella, ja ilmake-hässä kasvava hiilen määrä kerää auringon lämpöä entistä enemmän ja enemmän. Siksi esimerkiksi uusiutuvat dieselit ovat ympäristöystävällisiä, koska uusiutuvan dieselin hii-len kiertokulku tuottajien (kasvit) ja kuluttajien välillä on nopea, vaikka välittömät päästöt ovatkin samat perinteisen dieselin kanssa.

Esimerkiksi Suomessa Neste tarjoaa Neste MY uusiutuvaa dieseliä. Se on jätteistä ja tähteistä valmistettua uusiutuvaa dieseliä, jonka käyttöön liittyvät ominaisuudet ovat to-della lähellä perinteisen dieselin ominaisuuksia. Lisäksi sen välittömät päästöt ovat ma-talammat kuin perinteisen dieselin ja biodieselin päästöt. Uusiutuvien dieseleiden laajalla käyttöönnotolla on kuitenkin haasteita. Toistaiseksi Neste MY diesel on kalliimpaa kuin normaali diesel. Konalan Neste Express -asemalla 5.2.2018 perinteisen dieselin litra-

hinta oli 1,304 €/l ja Neste MY Dieselin 1,454 €/l (noin 12 % ero). Lisäksi biopolttoaineiden tuotantoa rajoittaa polttoaineiden raaka-aineiden saanti ja eri biopolttoaineiden tuotannon vaikutuksilla ympäristöön on suuria eroja. Esimerkiksi palmuöljyn käyttö biopolttoaineen raaka-aineena ei ole täysin ongelmaton.

Viime aikoina huoli ilmastosta on alkanut näkyä isommassa mittakaavassa ja esimerkiksi energiayhtiöt ovat ymmärtäneet asian tärkeyden. Muuttuville energiamarkkinoille nopeinten sopeutuvat toimijat tulevat olemaan vahvoilla tulevaisuudessa. Huoli ilmastosta on jo nyt megatrendi. Hyvä niin.

Toivottavasti malli on pieni osa muutosta kohti hiilineutraalia tulevaisuutta. Yksi sen vahvuuksista on käyttöönoton matalat kustannukset: kynä, paperi, tietokone ja muutama harmaa hius.

Lähteet

Carbon Dioxide. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_dioxide>. Luettu 12.12.2017.

Diesel Fuel. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Diesel_fuel>. Luettu 28.11.2017.

Järvinen, Ville; Leskinen, Markku & Makkonen, Timo. 2017. Koneyritysten energiatehokkuuden seuranta ja parantaminen. Esittelymateriaali. Helsinki: Koneyrittäjien liitto.

Lean-burn. Verkkoaineisto. Wikipedia. <<https://en.wikipedia.org/wiki/Lean-burn>>. Luettu 23.1.2018.

Mäkelä, Kari. 2018. LIPASTO TYKO-mallin kehittäjä, TREMMO Tmi, Espoo. Sähköpostikeskustelu 4.2.2018.

Nylund, Nils-Olof; Söderinä, Petri & Rahkola, Pekka. 2016. Työkoneiden CO₂ päästöt ja niihin vaikuttaminen. Selvitysraportti. Espoo: Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.

Parkkonen, Tommi. 2015. Jättiremppa alkoi - hyvästi eduskuntatalo, nähdään vuonna 2017! Verkkouutinen. Iltalehti. <http://www.iltalehti.fi/uutiset/2015031319345794_uu.shtml>. Luettu 12.12.2017.

Suomen kasvihuonekaasupäästöt 2016. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <http://tilastokeskus.fi/til/khki/2016/khki_2016_2017-05-24_kat_001_fi.html>. Luettu 22.11.2017.

Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä (LIPASTO). Verkkoaineisto. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. <lipasto.vtt.fi>. Luettu 22.11.2017.

Stora Enso asetti kunnianhimoiset ilmastotavoitteet. Verkkoaineisto. Metsälehti. <<https://www.metsalehti.fi/uutiset/stora-enso-asetti-kunnianhimoiset-ilmastotavoitteet/>>. Luettu 30.1.2018.

Virokannas, Anne; Mäkinen, Petri & Wanhatalo, Pentti. 2017. Maarakennusalan konekustannusindeksi. Helsinki: Tilastokeskus.

Virokannas, Anne; Mäkinen, Petri & Wanhatalo, Pentti. 2017. Metsäalan kone- ja auto-kustannusindeksit. Helsinki: Tilastokeskus.

LIPASTOn ajettavat diesel-työkoneryhmät (2016)

VTT LIPASTO TYKO 2016	Lukumäärä	Keskim. nim. teho	CO2	Kulutus	Energia
Dieselkäyttöiset ajettavat	kpl	kW	t/a	t/a	GWh/a
Pusku traktorit	286	112	5 250	1 661	20
Tiehöylät	935	149	26 169	8 278	99
Jyrät	1 426	45	7 198	2 277	27
Pyöräkuormaajat	16 666	94	320 073	101 252	1 209
Traktorikaivurit	1 859	74	27 307	8 639	103
Minikaivurit	4 707	22	14 236	4 503	54
Kaivukoneet, tela	10 594	104	300 534	95 065	1 135
Kaivukoneet, pyörä	2 508	88	60 698	19 199	229
Dumpperit	456	153	18 485	5 849	70
Hakkuukoneet (Moto)	2 298	149	200 587	63 409	757
Metsä traktorit	2 116	105	95 208	30 102	360
Nosturit	1 015	99	13 270	4 199	50
Muut trukit	2 012	33	7 192	2 275	27
Haarukkatrukut	5 466	88	187 852	59 423	710
Maataloustraktorit	112 512	77	462 815	143 675	1 716
Teollisuustraktorit	982	67	8 373	2 646	32
Kunnossapitotraktorit	178	62	2 093	644	8
Muut traktorit	253 368	58	39 872	12 614	151
Leikkuupuimurit	18 375	89	51 399	16 259	194
Monitoimikoneet	3 424	50	27 409	8 670	104
Teleskooppikurottajat	1 739	78	22 448	7 101	85
Ajoruhonleikkurit	4 002	12	2 556	808	10
Mönkijät	7 074	25	17 942	5 672	68
Muut	2 174	89	31 965	10 110	121
Yhteensä					
Dieselkäyttöiset ajettavat	456 175		1 950 934	614 329	7 338
Metsä- ja maarak.koneet	43 853		1 075 745	340 233	4 064

